



# jamk.fi

## **Polttoaineen kulutus puunkorjuuyrityksessä**

Heli Pynnönen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2020  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma

Jyväskylän ammattikorkeakoulu  
JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Pynnönen, Heli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2020
	Sivumäärä 35	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: Kyllä
Työn nimi <b>Polttoaineen kulutus puunkorjuuyrityksessä</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Petri Vauhkonen		
Toimeksiantaja(t) Metsäkoneurakointi T. ja P. Pynnönen Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin Metsäkoneurakointi T. ja P. Pynnönen Oy:n toimeksiannosta. Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa yrityksen polttoaineen kulutuksesta puunkorjuussa. Lisäksi tutkittiin korjuuolosuhteiden vaikutusta polttoaineen kulutukseen. Tutkimuksessa oli mukana viisi metsäkonetta.</p> <p>Tutkimus suoritettiin keräämällä korjuulohkojen tuotos- ja käyttötiedot metsäkoneista. Tietoa selvitettiin myös yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä. Tuotos- ja käyttötietojen pohjalta laskettiin polttoaineen kulutusta koskevat arvot.</p> <p>Tuloksista selvisi, että yksi korjattu kuutiometri kuluttaa polttoainetta keskimäärin 1,98 litraa. Hakkuussa polttoaineen kulutus ensiharvennuksella oli 1,45 l/m<sup>3</sup>, harvennuksella 1,09 l/m<sup>3</sup>, päätehakkuulla 0,52 l/m<sup>3</sup> ja muulla hakkuutavalla 0,81 l/m<sup>3</sup>. Keskimääräisen runkotilavuuden ja hehtaarikohtaisen poistuman kasvaessa polttoaineen kulutus laski.</p> <p>Tutkimuksen johtopäätöksenä todettiin, että puunkorjuu oli päätehakkuulla polttoainetehokkainta. Tällöin polttoaineen kulutus yhtä kuutiometriä kohti oli matalin. Eniten polttoainetta kului ensiharvennuksella, mikä johtui runkojen pienestä tilavuudesta ja pinta-alakohtaisen poistuman pienuudesta. Tutkimuksen tietoa voidaan jatkossa hyödyntää yrityksen liiketoiminnassa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Polttoaineen kulutus, puunkorjuu, metsäkone		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Pynnönen, Heli	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2020
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 35	Permission for web publication: Yes
Title of publication <b>Fuel consumption in a logging company</b>		
Degree programme Bachelor's Degree Programme in Logistics		
Supervisor(s) Vauhkonen, Petri		
Assigned by Metsäkoneurakointi T. ja P. Pynnönen Oy		
<p>Abstract</p> <p>The thesis was assigned by Metsäkoneurakointi T. ja P. Pynnönen Oy. The target of the thesis was to produce information on the company's fuel consumption in logging. In addition, the effect of the logging conditions on the fuel consumption was studied. Five forest machines were included in the study.</p> <p>The study was conducted by collecting data on the harvesting sectors' output and processing from forest machines. Information was also collected from the company's ERP system. Based on the output and processing data, fuel consumption was calculated.</p> <p>The result showed that one harvested cubic meter consumes an average 1.98 litres of fuel in the company. The fuel usage during the first thinning was 1.45ltr/m<sup>3</sup>, during the later thinning 1.09ltr/m<sup>3</sup> and during the final felling 0.52ltr/m<sup>3</sup>. When using other felling methods, the consumption was 0.81ltr/m<sup>3</sup>. As average trunk volume and reduction per hectare increased, the fuel consumption decreased.</p> <p>The study concluded that logging was the most fuel efficient during the final method. In this case, fuel consumption per cubic meter was the lowest. Most fuel was consumed during the first thinning which was due to the small volume of the trunks and the small area-specific reduction. The results of the study can be utilized in the company's business in the future.</p>		
Keywords/tags (subjects) Fuel consumption, logging, forest machine		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Puunkorjuun nykytila .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Polttoaineen kulutus puunkorjuussa .....</b>	<b>7</b>
3.1	Työkoneet .....	7
3.2	Työkoneiden kulutus ja päästöt .....	8
3.3	Kustannukset .....	11
3.4	Polttoaineen kulutuksen mittaus .....	12
3.5	Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat tekijät .....	13
<b>4</b>	<b>Tutkimusasetelma .....</b>	<b>15</b>
4.1	Tutkimusstrategia ja -menetelmä .....	15
4.2	Tutkimusaineisto .....	16
<b>5</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Johtopäätökset .....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>Pohdinta .....</b>	<b>25</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>27</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>31</b>
	Liite 1. Hakkuun koko aineisto .....	31
	Liite 2. Metsäkuljetuksen koko aineisto .....	32

## Kuviot

Kuvio 1. Metsistä hakatun puumäärän kehitys .....	5
Kuvio 2. Hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden lukumäärä Suomessa .....	8
Kuvio 3. Dieselläkäyttöisten työkoneiden CO <sub>2</sub> -päästöt vuonna 2018 .....	9
Kuvio 4. Koneketjun keskimääräinen kustannusrakenne.....	11

Kuvio 5. Polttoaineen hinnan vaikutus korjuuyrityksen kustannuksiin.....	12
Kuvio 6. Tutkimuksen koneiden tuotokset seurantajaksoittain.....	17
Kuvio 7. Ensiharvennusten polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa .	20
Kuvio 8. Harvennusten polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa .....	20
Kuvio 9. Päätehakkuiden polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa ....	21
Kuvio 10. Muiden hakkuiden polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa .....	21
Kuvio 11. Hakkuun keskimääräinen kuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus hakkuutavoittain .....	22
Kuvio 12. Polttoaineen kulutus hakkuussa rungon keskitilavuuden suhteen hakkuutavoittain .....	22
Kuvio 13. Polttoaineen kulutus hakkuussa hehtaarikohtaisen poistuman suhteen hakkuutavoittain .....	23
Kuvio 14. Hakkuutapojen jakautuminen tutkimusaineistossa .....	25

## Taulukot

Taulukko 1. Tuntikohtainen polttoaineen kulutus hakkuutavoittain hakkuukoneen ja kuormatraktorin osalta .....	13
Taulukko 2. Hakkuun ja metsäkuljetuksen sisältävä polttoaineen kulutus sekä pelkän hakkuun polttoaineen kulutus hakkuutavoittain .....	13
Taulukko 3. Tutkimukseen osallistuneet metsäkoneet ja niiden hakkuulaiteet/kourat koon mukaan luokiteltuna. ....	17

# 1 Johdanto

Metsäkoneet kuluttavat vuositasolla kymmeniä tuhansia litroja polttoöljyä, mikä tarkoittaa merkittäviä käyttökustannuksia koneyrittäjälle ja hiilidioksidipäästöjä ympäristöön (Työkoneiden kulutus kutistuu merkittävästi 2019). Polttoaineen kulutuksen mittaaminen auttaa polttoaineen säästöä. Polttoainekustannukset muodostavat yhden isoimmista kulueristä puunkorjuuyrityksissä, mikä korostaa kulutustason mittaamisen tärkeyttä.

Polttoaineen kulutus on monen eri tekijän summa. Korjuuolosuhteisiin on vaikea vaikuttaa, mutta esimerkiksi työskentelytapoihin ja kalustoon on mahdollista vaikuttaa. Vähentynyt polttoaineen kulutus näkyy yrityksen toiminnassa pienentyneiden polttoainekustannusten lisäksi myös pienentyneenä hiilijalanjälkenä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa tietoa kohdeyrityksen puunkorjuun polttoaineen kulutuksesta. Tutkimusasetelmaan sisältyi hypoteesi eli oletamus, jonka mukaan korjuuolosuhteet vaikuttavat puunkorjuun kuutiometrikehtaiseen polttoaineen kulutukseen. Kohdeyrityksessä ei ole ennen selvitetty korjuun kulutusta, vaan kulutuksen arviointi on perustunut vankkaan työkokemukseen. Puunkorjuussa tuotos mitataan kuutiometreinä eli motteina, minkä vuoksi kulutus sidottiin kuutiometreihin.

Tutkimusta varten laaditut tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

1. Kuinka paljon polttoainetta kuluu yhtä korjattua (= hakattua ja metsäkuljetettua) kuutiometriä kohden?
2. Mikä on hakkuun kuutiometrikehtainen polttoaineenkulutus eri hakkuutavoilla?
3. Miten korjuuolosuhteet vaikuttavat polttoaineen kulutukseen?

Tutkimukseen otettiin mukaan osa kohdeyrityksen hakkuukoneista ja yksi kuormatraktori. Polttoaineen kulutusdataa saatiin vuoden 2019 lokakuusta vuoden 2020 maaliskuun puoleen väliin saakka. Seurantakohteiksi valittiin koneet, joista oli

mahdollista saada järjestelmien ja dokumenttien avulla tietoa polttoaineen kulutuksesta.

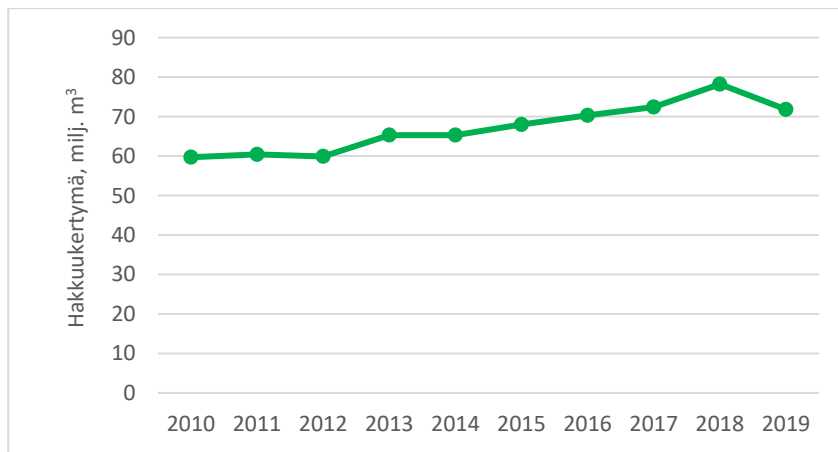
Opinnäytetyön toimeksiantaja on puunkorjuualalla toimiva itsenäinen alueyrittäjä, Metsäkoneurakointi T. ja P. Pynnönen Oy, jolla ei ole alihankintayrityksiä.

Puunkorjuun lisäksi yrityksen palveluihin kuuluvat energiapuunkorjuu, maanmuokkaus ja lavettikuljetukset. Yritys urakoi seitsemällä koneketjulla ja seitsemällä kaivurilla Keski-Suomen alueella.

## **2 Puunkorjuun nykytila**

Puunkorjuulla tarkoitetaan puiden kaatamista, karsimista ja katkontaa sekä runkojen kuljetusta metsästä tienvarsivarastolle, josta kuorma-auto kuljettaa kaukokuljetuksen teollisuuslaitokselle. Nykyisin Suomen puunkorjuu toteutetaan tavaralajimenetelmää hyödyntäen lähes poikkeuksetta koneellisesti eli kaadon, karsimisen ja katkonnan suorittaa hakkuukone, jota kutsutaan kansaomaisesti motoksi. Tavaralajimenetelmässä hakkuukone katkoo rungot käyttötarkoituksen mukaan tiettyyn mittaan jo metsässä. Katkotut rungot kuljetetaan metsästä tienvarsivarastoon eli metsäkuljetaan kuormatraktorilla, josta käytetään nimitystä ajokone. Hakkuukoneita ja kuormatraktoreita kutsutaan yleisesti metsäkoneiksi ja niiden muodostamaa työparia kone- tai korjuuketjuksi. (Puunkorjuu (harvesting) n.d.)

Metsäteollisuuden investoinnit ovat johtaneet puunkorjuumäärien merkittävään kasvuun Suomessa. Vuonna 2010 hakkuukertymä eli metsästä korjatun runkopuun kokonaismäärää oli 59,7 miljoonaa kuutiometriä (ks. kuvio 1). Siitä lähtien korjuumäärien kehitys on ollut nousujohteista aina vuoden 2018 ennätyslukemiin (78,2 milj. m<sup>3</sup>) saakka. Kolmen viimeisen vuoden aikana vuotuinen hakkuukertymä on ollut yli 70 miljoonaa kuutiometriä. (Suomen metsien kasvua ja kestävyyttä koskevat laskelmat n.d.)



Kuvio 1. Metsistä hakatun puumäärän kehitys (Suomen metsien kasvua ja kestävyttä koskevat laskelmat n.d.)

Puunkorjuuyrityksillä osana Suomen metsäteollisuutta on suuri kansantaloudellinen vaikutus (Metsien taloudellinen merkitys n.d.). Puunkorjuun vuotuinen liikevaihto on 700–750 miljoonaa euroa. Korjuuyritykset ovat tärkeässä roolissa metsätalouden ja maaseudun elinvoimaisuuden kannalta, vaikka yksittäisinä yrityksinä ne ovat verrattain pieniä. Korjuuyritykset ovat metsäalan suurin työllistäjä, sillä ne työllistävät yrittäjät mukaan lukien 6500 henkilöä. (Metsäkoneala n.d.)

Puunkorjuuyritysten merkittävimpiä asiakkaita eli urakanantajia ovat metsäteollisuusyritykset, valtion omistama Metsähallitus ja yksityiset sahat sekä metsänhoitoyhdistykset. Nykyisin noin 90 % korjuuyritysten palveluista myydään isoille metsäteollisuusyrityksille ja Metsähallitukselle. (Hourunranta, Jaakkola, Makkonen, Manner & Nieminen 2018, 8.)

Tyypillinen puunkorjuuyritys on maaseudulla toimiva perheyryitys, jossa myös yrittäjä osallistuu itse puunkorjuuseen (Hourunranta ym. 2018, 7). Vuoden 2020 alussa Suomessa oli 2240 metsäkoneyrittäjää, joista yli puolet urakoi yhdellä koneella ja yli yhdentoista koneen yrityksiä oli 48 eli noin 2 %. Noin 10 % yrittäjistä omistaa 4-7 metsäkonetta. Vuoden 2020 yli yhdentoista koneen yrityksiä oli kymmenen enemmän kuin esimerkiksi vuonna 2014 (Metsäkonealalla toimivat yritykset 2020.)

Puunkorjuuyritysten koko ja vastuu ovat laajentuneet viime vuosina.

Metsäteollisuuden puunhankintaorganisaatiot ovat ohjanneet korjuuyritysten



rakennemuutosta. Ne ovat siirtäneet puunkorjuun operatiivisia tehtäviä koneyritysten suoritettavaksi. Tämän seurauksena on alettu puhua laajavastuisesta toiminnasta eli alueyrittäjyydestä. Alueyrittäjällä on tavallisesti yksi pääurakanantaja ja mahdollisesti myös alihankintayrityksiä. Laaja-alaisissa urakointisopimuksissa vuosittainen korjuumäärä on noin 300 000–500 000 m<sup>3</sup>. Puunkorjuun lisäksi koneyrityksiltä odotetaan nykyisin myös muiden työlajien, kuten maanmuokkauksen tai koneellisen kylvön, toteuttamista. (Nieminen 2015.)

Vaikka korjuumäärät ja yrityskoko ovat olleet kasvussa, korjuuyritysten kannattavuus ei ole kehittynyt samaa tahtia. Yritysten keskimääräinen liikevaihto on pienentynyt vuodesta 2012 vuoteen 2016 asti. Vuonna 2018 mediaaniyrityksen liikevaihto oli noin 660 000 euroa, joka samaa tasoa vuoden 2012 tuloksen kanssa. Pienissä, alle keskimääräisen liikevaihdon korjuuyrityksissä sijoitetun pääoman tuotto on alle 3 %. Keskisuurten (liikevaihto 0,6-2 milj.) ja suurten (liikevaihto yli 2 milj.) korjuuyritysten sijoitetun pääoman tuotto on kymmenen prosentin luokkaa. Heikkoa kannattavuutta selittävät kustannusten kasvu suhteessa korjuutaksaan sekä itse korjuutaksan alentuminen. Metsäkoneiden kallis hankintahinta ja korjuun kausivaihtelusta johtuva koneiden alhainen käyttöaste ovat myös kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. (Pienet yritykset kuilun partaalla 2020; Makkonen 2020.)

Nykyisin puunkorjuun kausivaihtelu on korostunut entisestään, vaikka siihen on vuosien myötä sopeuduttu. Kausivaihtelulla tarkoitetaan kuukausien välillä tapahtuvaa korjuumäärien huomattavaa muutosta. Kausivaihtelu vaikuttaa oleellisesti korjuuyrittäjien henkilöstön työllisyyteen. Keskeisimpiä syitä kausivaihtelulle ovat tiestön kelirikko ja kantavuusrajoitteet sekä leimikoiden korjuukelpoisuus eri vuodenaikoina. Lisäksi korjuumäärien vaihteluun vaikuttaa metsäteollisuuden puuntarpeen vaihtelu. Esimerkiksi vuoden 2019 loppupuolella korjuumäärät romahtivat. Metsäteollisuudessa alkoivat lakot ja työsulut sekä samaan aikaan liian kosteat kelit estivät korjuun. Lisäksi yleinen maailmankaupan tilanne ja Keski-Euroopan metsätuhot heijastuivat Suomen metsäteollisuuden kautta korjuuyrittäjien työmääriin. (Koneyrittäjien Jormakka 2020; Alanne, Ovaskainen, Poikela & Strandström 2017.)

### 3 Polttoaineen kulutus puunkorjuussa

Polttoaineet ovat aineita, joiden palamisreaktiossa vapautetaan niihin sitoutunut kemiallinen energia ja hyödynnetään se lämpönä tai mekaanisena energiana.

Palamisreaktiossa polttoaine reagoi kemiallisesti hapen kanssa, minkä seurauksena syntyy valoa ja lämpöä. Kemiallisessa reaktiossa syntyy myös hiilidioksidia ja vettä. (Lehtiniemi & Turpeenoja 2005, 46-47.)

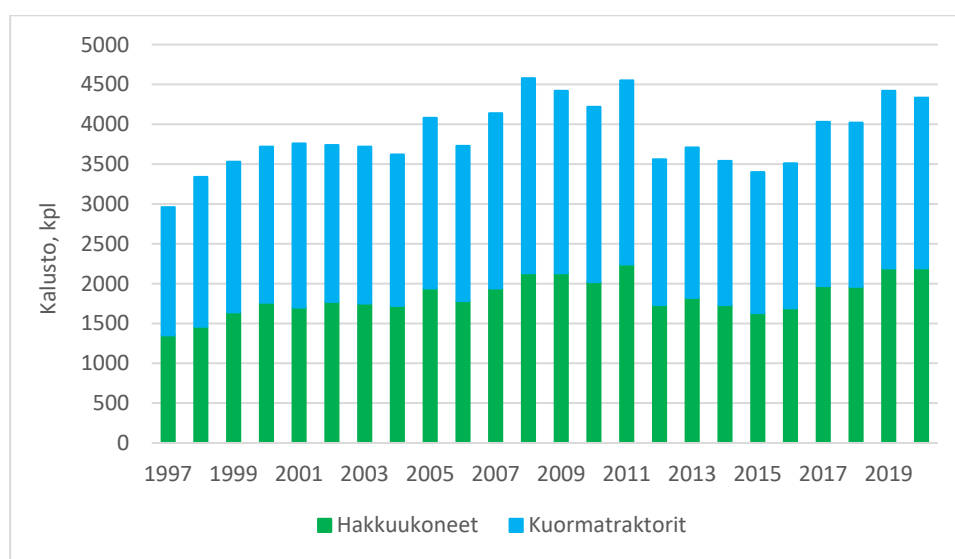
Fossiiliseksi polttoaineiksi kutsutaan polttoaineita, jotka ovat syntyneet miljoonien vuosien saatossa kasvien ja eliöiden jäännösten lahotessa maaperään. Fossiilisia polttoaineita ovat hiili, maakaasu ja öljy. Öljystä valmistetaan työkoneissa käyttövoimana hyödynnettävää kevyttä polttoöljyä, tarkemmin moottoripolttoöljyä. Uusiutumattomat polttoaineet vapauttavat palaessaan ilmastomuutosta kiihdyttävää hiilidioksidia. (Fossiiliset energianlähteet n.d.)

#### 3.1 Työkoneet

Työkoneet ovat koneita, joiden määritelmä perustuu ajoneuvolakiin (1090/2002) ja joiden moottorit ovat säänneltyjä EU direktiivin 97/68/EC mukaisesti. Työkoneiden joukko on kirjava, ja niiden käyttöprofiili vaihtelee riippuen koneen käyttötarkoituksesta. Työkoneen käyttöprofiililla on oleellinen vaikutus moottorin kuormitukseen, mikä ilmenee myös polttoaineen kulutuksessa. (Nylund, Rahkola & Söderena 2016, 5.)

Metsäkoneet ovat dieselkäyttöisiä työkoneita. Metsäkoneiden voimanlähteenä on yleisimmin turboahdettu dieselmoottori. Käyttövoimana hyödynnetään moottoripolttoöljyä, jota verotetaan kevyemmin dieseliin verrattuna. Sen käyttö tieliikenteessä on kielletty. Metsäkoneiden tyyppillinen voimansiirto on hydrostaattis-mekaaninen (Uusitalo 2003, 123). Moottorin teho on keskimäärin noin 160 kW. (Pynnönen 2020; Moottoripolttoöljy n.d.)

Metsäkoneiden vuosittain käyttötuntien määrä noin 2500. Hakkuukoneen käyttöikä on tavallisesti noin viisi vuotta ja kuormatraktorilla vastaavasti noin seitsemän vuotta. Metsäkoneiden lukumäärä on vaihdellut vuosien aikana Suomessa kuvion 2 mukaisesti (Hakkuiden työvoima ja korjuukalusto n.d.). Suomessa käytetyimmät metsäkonemerkit ovat Ponsse, John Deere ja Komatsu, joista Ponsse on ollut markkinajohtaja yli vuosikymmenen ajan. (Vuosi 2019 oli harvesterimyyntin ennätysvuosi 2020; Pynnönen 2020.)



Kuvio 2. Hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden lukumäärä Suomessa (Hakkuiden työvoima ja korjuukalusto n.d.)

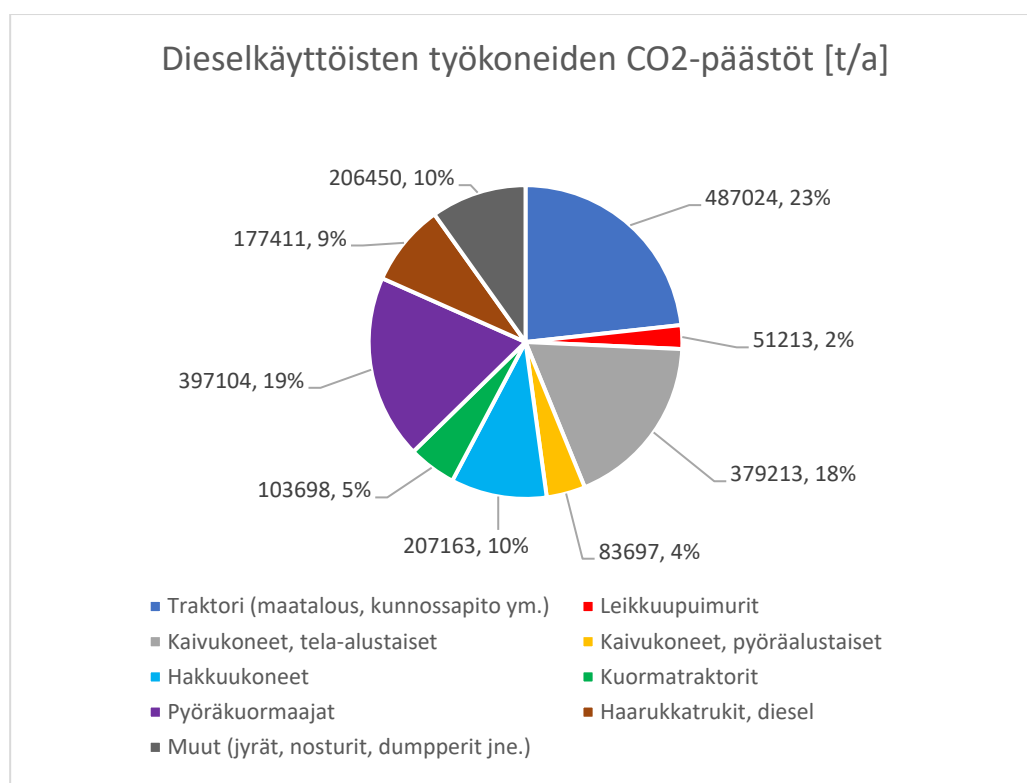
### 3.2 Työkoneiden kulutus ja päästöt

Hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ) on ihmisen tuottamista kasvihuonekaasuista merkittävin ja valtaosa ihmisen aiheuttamasta hiilidioksidista on peräisin fossiilisista polttoaineista (Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku n.d.). Vuonna 2018 Suomessa fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöt olivat 41 miljoonaa tonnia. (Hiilidioksidipäästöt n.d.)

Työkoneiden polttoaineen kokonaiskulutus on vuodessa noin 770 000 tonnia, josta noin 90 % on dieselpolttoainetta, lähinnä moottoripolttoöljyä (Nylund ym. 2016, 6-7). Metsäkoneet käyttävät reilun kymmenesosan työkoneiden kuluttamista fossiilisista polttoaineista. Vuonna 2018 metsäkoneet kuluttivat polttoainetta noin 98 312 tonnia

eli 117,9 miljoonaa litraa (Suomen työkoneneiden päästömalli n.d.). Yksi litra metsäkoneissa käytettävää kevyttä polttoöljyä tuottaa palamisreaktiossa 2,7 kg hiilidioksidia (Keto 2010, 39). Polttoaineen määrä on suorassa yhteydessä hiilidioksidipäästöjen määrään, joten kulutuksen vähentäminen hillitsee päästöjä ja hidastaa ilmastonmuutosta.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n mukaan dieselkäyttöisten työkoneneiden hiilidioksidipäästöt olivat vuonna 2018 noin 2,2 miljoonaa tonnia, joka on noin 17 % tieliikenteen ja työkoneneiden yhteenlasketuista CO<sub>2</sub>-päästöistä. Puunkorjuussa käytettävät työkoneneet muodostavat dieselkäyttöisten työkoneneiden vuosittaisista CO<sub>2</sub>-päästöistä noin 15 %, joka on tonneina 310 861 (Suomen työkoneneiden päästömalli n.d.; Suomen tieliikenteen päästöjen kehitys 2019). Metsäkoneiden päästöt ovat eriteltyinä hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden osalta kuviossa 3.



Kuvio 3. Dieselkäyttöisten työkoneneiden CO<sub>2</sub>-päästöt vuonna 2018 (Suomen työkoneneiden päästömalli n.d.)

Työkoneille ei ole asetettu numeraalisia CO<sub>2</sub>-päästövähennystavoitteita EU-tasolla. Työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöjen hallintaan keskeisiä keinoja ovat muun muassa biopolttoaineiden nykyistä runsaampi hyödyntäminen, kuljettajatyön ohjausjärjestelmät ja koneiden vaihtoehtoiset käyttövoimat, kuten hybridi ja biokaasu. Suomalainen metsäkonevalmistaja Logset toi maailman ensimmäisen hybridihakkuukoneen markkinoille vuonna 2016. (Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen vähentämiseksi useita keinoja 2019; Hybridi teknologia metsäkoneissa n.d.)

### **Työkonemoottoreita koskeva lainsäädäntö**

Työkonemoottoreita ei toistaiseksi säädellä raja-arvoin CO<sub>2</sub>-päästöjen osalta. Euroopassa työkonemoottorit kuuluvat Stage-päästöluokitukseen, johon eivät lukeudu CO<sub>2</sub>-päästöt. Stage-päästöluokitus rajoittaa hiilivety-, hiilimonoksidi-, pienhiukkas- ja typenoksidipäästöjä sekä hiukkaslukumäärää. (Työkoneet n.d.)

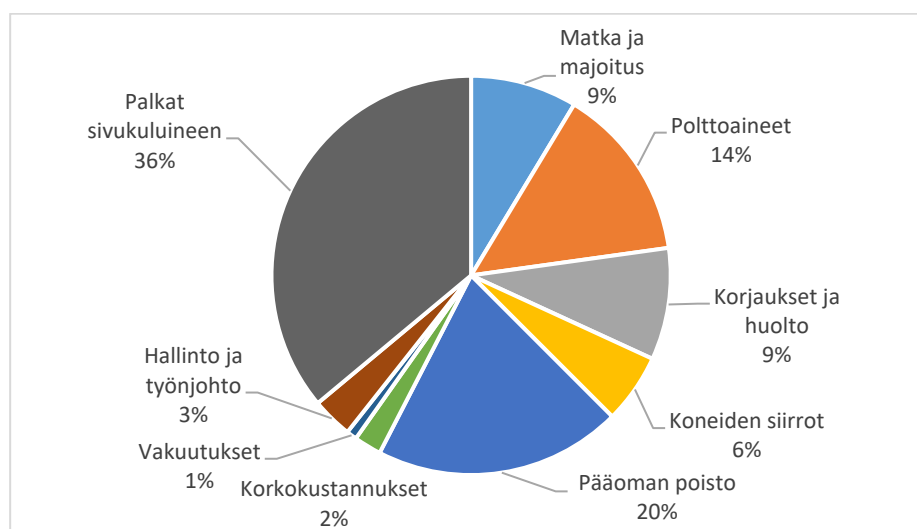
Vuoden 2020 alussa päivitetty Stage V -päästöluokitus vaatii kaikissa 19–560 kW:n moottoreissa hiukkassuodattimen käyttöä. Hiukkassuodattimen käytöstä aiheutuu haasteita moottorin pakokaasujen lämmönhallintaan, jotta saadaan varmuus hiukkassuodattimen toiminnasta kaikissa olosuhteissa. Tämän seurauksena polttoaineen kulutus saattaa nousta moottoreissa, joissa hiukkassuodattimen käyttöä ei ole ennen vaadittu. Stage V -päästöluokitus asettaa työkoneiden säännellyt päästöt lähes samalle tasolle tieliikenteen raskaan kaluston kanssa. (Nylund ym. 2016, 12-13).

Hiilivety-, hiilimonoksidi-, pienhiukkas- ja typenoksidipäästöjä on saatu laskettua tuloksellisesti tekniikan avulla. Polttomoottoreista CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen teknisten ratkaisujen avulla on haasteellista verrattuna muihin edellä mainittuihin päästöihin. Polttoaineen palaessa muodostuu hiilidioksidia ja vettä, joten päästöjen ensisijainen hallintakeino on polttoaineen kulutuksen vähentäminen. (Nylund ym. 2016, 15.)

### 3.3 Kustannukset

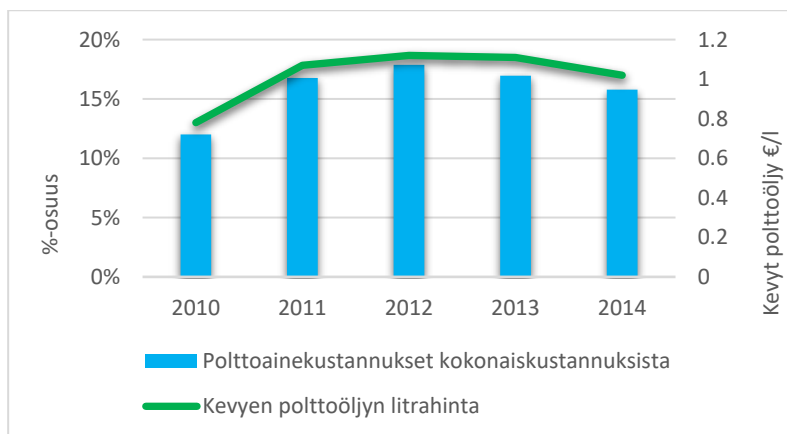
Puunkorjuualalla yritysten kustannuksissa isoin yksittäinen kuluerä on palkat, toiseksi isoin on pääomakustannukset ja kolmanneksi isoin polttoainekustannukset.

Korjuuyrityksissä kustannuslaskenta tehdään joko konekohtaisesti tai koko yritykselle (Hourunranta ym. 2018, 70). Kuviossa 4 on eritelty koneketjun kustannusrakenne. Polttoainekustannukset muuttuvat samassa suhteessa yrityksen toiminnan määrän kanssa.



Kuvio 4. Koneketjun keskimääräinen kustannusrakenne (Virokannas & Wanhatalo 2014.)

Polttoainekustannuksiin vaikuttaa myös öljyn maailmanmarkkinahinta, mikä näkyy kevyen polttoöljyn litrahinnan muutoksina. Viime vuosina kevyen polttoöljyn kuluttajahinta on keskimääräisesti vaihdellut hieman euron molemmin puolin. Hinnanmuutokset heijastuvat korjuuyritysten talouteen (ks. kuvio 5).



Kuvio 5. Polttoaineen hinnan vaikutus korjuuyrityksen kustannuksiin (Virokannas ym. 2014; Polttonesteiden keskihintoja, vuositiedot, 2002–2019 n.d.)

### 3.4 Polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Metsäkoneiden ja puunkorjuun polttoaineen kulutusta on selvitetty niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Suomessa viimeisin laaja polttoaineen kulutuksen seurantatutkimus on vuodelta 2019 ja sitä edellinen vuodelta 2003 (Rieppo & Örn 2003; Haavikko, Kärhä, Kääriäinen, Palander & Roininen 2019). Polttoaineen kulutusta mitataan koneellisen hakkuun osalta hakkuukoneesta ja metsäkuljetuksen osalta kuormatraktorista. Korjuussa on oleellista huomioida eri hakkuutavat polttoaineen kulutuksen yhteydessä. Hakkuutavalla tarkoitetaan metsänkäsittelyssä käytettävää hakkuumenetelmän muotoa. Hakkuutapojen pääluokat ovat harvennus- ja päätehakkuut. Harvennukset voidaan jakaa vielä ensiharvennuksiin ja muihin harvennuksiin. (Pynnönen 2020; Brunberg 2013.)

Metsäkoneiden polttoaineen kulutusta mitataan litroissa käyttötuntia kohden (l/h). Pääsääntöisesti hakkuukoneet kuluttavat kuormatraktoreita enemmän polttoainetta (ks. taulukko 1). Hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden tuntikohtainen kulutus on noussut vuosien saatossa. Metsäyhtiö Stora Enson ja Itä-Suomen yliopiston toteuttaman tutkimuksen mukaan metsäkoneiden tuntikohtainen kulutus on nykyisin noin 15 % suurempi kuin vuonna 2003. Polttoaineen kulutus on noussut erityisesti hakkuun osalta. (Haavikko ym. 2019.)

Taulukko 1. Tuntikohtainen polttoaineen kulutus hakkuutavoittain hakkuukoneen ja kuormatraktorin osalta (Haavikko ym. 2019.)

Hakkuutapa	Hakkuukone (l/h)	Kuormatraktori (l/h)
Ensiharvennus	14,4	10,5
Myöhempi harvennus	14,3	10,9
Päätehakkuu	15,8	11,8

Puunkorjuun polttoaineen kulutusta mitataan litroissa kuutiometriä kohden (l/m<sup>3</sup>). Korjatun kuutiometrin kulutuksella tarkoitetaan hakkuun ja metsäkuljetuksen yhteenlaskettua polttoaineen kulutusta. Kuutiometrikohtainen kulutus voidaan laskea myös pelkästään hakkuulle tai metsäkuljetukselle. Korjatun kuutiometrin kulutus kertoo korjuun polttoainetaloudellisuudesta. Kuluneen 15 vuoden aikana korjuun kuutiometrikohtainen kulutus on pysynyt lähes samalla tasolla. Taulukossa 2 esitetään viimeisimmät Suomen puunkorjuuta koskevat kulutustiedot eri hakkuutapojen osalta. (Haavikko ym. 2019.)

Taulukko 2. Hakkuun ja metsäkuljetuksen sisältävä polttoaineen kulutus sekä pelkän hakkuun polttoaineen kulutus hakkuutavoittain (Haavikko ym. 2019.)

Hakkuutapa	Hakkuun ja metsäkuljetuksen kulutus (l/m <sup>3</sup> )	Hakkuun kulutus (l/m <sup>3</sup> )
Ensiharvennus	3,1	2,1
Myöhempi harvennus	2,2	1,4
Päätehakkuu	1,3	0,8

### 3.5 Polttoaineen kulutukseen vaikuttavat tekijät

Puunkorjuun polttoaineen kulutukseen vaikuttavista tekijöistä voidaan erottaa kolme eri päätekijää: metsäkone, korjuuolosuhteet ja kuljettaja (Nyt puhutaan puunkorjuun kuluttamasta polttoaineesta ja CO<sub>2</sub>-päästöistä 2019). Korjuuolosuhteiksi määritellään esimerkiksi sääolosuhteiden ja maaston pinnanmuotojen lisäksi korjuulohkokohtaiset tiedot. Korjuulohkolla tarkoitetaan korjuuohjeessa määriteltyä aluetta, joka määräytyy muun muassa hakkuutavan, puuston, korjuuajankohdan tai maastotyyppin mukaan (Ovaskainen 2012). Korjuulohkokohtaiset tiedot sisältävät muun muassa



lohkon pinta-alan, pystyvarannon eli korjattavan puun määrän sekä metsäkuljetusmatkan pituuden.

Kaluston näkökulmasta metsäkoneen moottoritehoilla ja varustelulla on isoimmat vaikutukset polttoaineen kulutukseen (Haavikko ym. 2019). Tässä yhteydessä metsäkoneen varustelulla tarkoitetaan koneissa käytettäviä teloja ja ketjuja. Hakkuukoneiden osalta hakkuulaitteen karsimateriaien kunto ja säätö vaikuttaa polttoaineen kulutukseen. Terien teroituksella ja oikealla säädöllä voidaan saada yli 10 %:n säästö polttoaineen kulutuksessa. (Vauhkonen 2017.)

Kuljettaja on avainasemassa korjuun polttoaineen kulutuksessa, mikä selviää Ruotsin Skogforskin tekemästä taloudellisen metsäkuljetuksen tutkimuksesta (Löfroth ym. 2007). Hakkuussa kuljettajan puomin ja hakkuulaitteen käsittely- sekä työnsuunnittelutaidot ovat oleelliset polttoaineen kulutukseen vaikuttavat asiat. Metsäkuljetuksessa työnsuunnittelutaitojen ohella kuormainen ja kouran käsittelytaidot vaikuttavat kulutukseen. Kuormaimen ja hakkuulaitteen ylimääräinen liikuttelu lisää polttoaineen kulutusta korjuussa (Vauhkonen 2017). Kuljettajan taloudellinen työskentelytapa säästää polttoainetta, parantaa työtehokkuutta sekä vähentää hiilidioksidipäästöjä. Taloudellisella työskentelyllä voidaan myös alentaa korjaus- ja huoltokustannuksia, mikä pidentää koneen käyttöikää. (Ovaskainen 2012.)

Tekniikan kehityksen myötä kuljettajan työskentelytapaan ja siten polttoaineen kulutukseen voidaan vaikuttaa koneiden seurantajärjestelmien avulla. Kuljettaja saa työskentelyn aikana koneen tietokoneesta informaatiota hetkellisestä ja keskimääräisestä polttoaineen kulutuksesta. Jälkeenpäin kulutusta voidaan tarkastella esimerkiksi työvaihekohtaisesti. Koneiden seurantajärjestelmät ovat mahdollistaneet kuljettajakohtaisen seurannan, josta on korjuuyrityksille hyötyä muun muassa toiminnan tehostamisessa. (Mitattuun tietoon perustuva metsäkoneen optimointipalvelua 2016.)

Polttoaineen kulutukseen vaikuttavien tekijöiden tunteminen on tärkeää kulutuksen vähentämisen kannalta. Suomen puunkorjuussa 7 %:n polttoainesäästö tarkoittaisi vuositasolla 7 miljoonaa litraa polttoainetta (Siekkinen 2017). Merkittävimpänä

polttoaineen säästöpotentiaalina nähdään kuljettajien työskentelytapoihin vaikuttaminen (Löfroth ym. 2007). Kuljettajien kouluttamisesta ovat esimerkkinä konevalmistajien käyttökoulutukset, joissa käydään läpi koneiden tuottavaa ja tehokasta käyttöä sekä teknisiä säätöjä.

## 4 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyö toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa käytettiin kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Tutkimusaineisto kerättiin kvantitatiivisesti valmiina olevista dokumenteista ja tilastoista. Aineisto koostuu metsäkoneiden operatiivisista tuotos- ja käyttötiedoista. Tutkimusaineiston analysoinnissa hyödynnettiin tilastollista päättelyä ja regressioanalyysia sekä graafista esitystä kuvioilla. Tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa polttoaineen kulutusta korjuussa ja selittää sitä syy-seuraus-suhteiden muodossa.

### 4.1 Tutkimusstrategia ja -menetelmä

Tutkimusstrategialla tarkoitetaan tutkimuksen menetelmällisten ratkaisujen kokonaisuutta. Tutkimusstrategiaksi valittiin tapaustutkimus, koska polttoaineen kulutuksen mittaus kohdentui yksittäiseen yritykseen. Tapaustutkimus kuuluu kolmen perinteisen tutkimusstrategian joukkoon. Tapaustutkimuksessa tavoitellaan yksityiskohtaista tietoa yksittäisestä tapauksesta tai pienestä joukosta keskenään suhteessa olevista tapauksista. Yksittäistapausta tutkitaan yhteydessä ympäristöönsä eli luonnollisissa tilanteissa. Aineistoa hankitaan useilla eri menetelmillä, kuten havainnoimalla, haastattelemalla ja dokumentteja tutkimalla. (Hirsjärvi ym. 2018, 132-135.)

Tutkimusmenetelmä on käsite, jolla tarkoitetaan tutkimusaineiston hankinta- ja analysointitapaa (Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineistot n.d.). Kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimusmenetelmä käsittelee tutkittavaa tietoa numeroiden avulla. Polttoaineen kulutus perustuu numeeriseen mittaamiseen, minkä vuoksi

tutkimusmenetelmäksi valittiin kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä. Kulutuksen mittaamisessa käytetään suhdeasteikkoa, jolla on absoluuttinen nollapiste. Määrällinen tutkimus vastaa kysymyksiin ”kuinka paljon” ja ”kuinka usein”. Määrällisessä tutkimuksessa keskeistä ovat tutkimusongelman muotoilu, aiempien tutkimusten johtopäätökset, aiempi teoria ja käsitteiden määrittely (Hirsjärvi ym. 2018, 140). Kvantitatiivisen tutkimuksen tavoitteena on saada vastaus kysymyksiin, jotka perustuvat tutkimusongelmaan. (Vilkkä 2007, 13-30.)

Määrällisessä tutkimuksessa tutkimusaineistona voidaan käyttää olemassa olevia dokumentteja ja tilastoja. Tutkija voi myös hankkia aineiston itse, esimerkiksi kyselylomakkeilla tai strukturoidulla haastattelulla. Tutkimusaineisto saadaan numeroina tai se ryhmitellään numeeriseen muotoon. Aineiston tulee olla riittävän laaja. Numerotieto tulkitaan ja selitetään sanallisesti. Tutkimustulokseen ei vaikuta tutkija, joten tulos on objektiivinen eli puolueeton. (Vilkkä 2007, 13-30.)

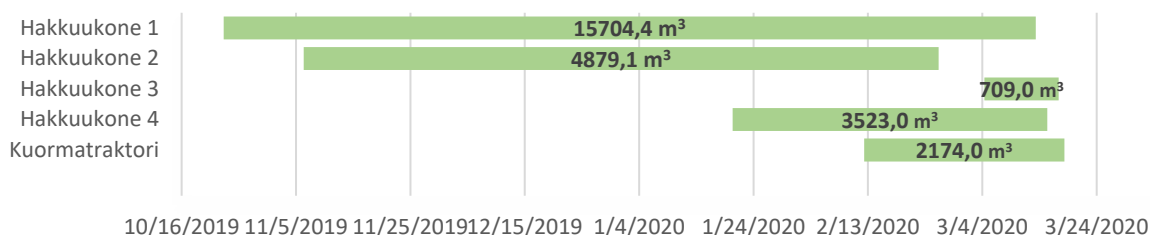
## 4.2 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistolla tarkoitetaan analysoitavaa aineistoa (Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineistot n.d.). Tässä tutkimuksessa aineiston laajuus oli 112 korjuulohkoa. Kulutetun polttoaineen kokonaismäärä oli 25 057 litraa. Tutkimuksessa korjuulohkoilta hakattiin puuta yhteensä  $24\,815,5\text{ m}^3$  ja metsäkuljetettiin  $2\,173,9\text{ m}^3$ .

Aineisto kerättiin kuuden koneenkuljettajan käyttämästä yhteensä viidestä eri metsäkoneesta, joista neljä oli hakkuukoneita ja yksi kuormatraktori (ks. taulukko 3). Aineiston määrä ja laajuus vaihteli konekohtaisella tasolla (ks. kuvio 6). Koneilla työskenneltiin pääsääntöisesti yhdessä vuorossa, mutta yhdellä hakkuukoneella työskenneltiin ajoittain myös kahdessa vuorossa. Koneiden keskimääräinen ikä oli noin kolme vuotta.

Taulukko 3. Tutkimukseen osallistuneet metsäkoneet ja niiden hakkuulaiteet/kourat koon mukaan luokiteltuna.

Merkki ja malli	Kokoluokka	Teho kW	Vuosimalli	Merkki ja malli	Kokoluokka
<b>Hakkuukone</b>			<b>Hakkuulaite</b>		
Komatsu 901 XC	pieni	170	2018	Komatsu C93	pieni
Komatsu 931	keskisuuri	190	2018	Komatsu C123	keskisuuri
Ponsse Ergo	keskisuuri	210	2012	Ponsse H7	keskisuuri
Ponsse Scorpion King	keskisuuri	210	2016	Ponsse H6	keskisuuri
<b>Kuormatraktori</b>			<b>Koura</b>		
Ponsse Buffalo	keskisuuri	210	2019	Vahva C36HD	keskisuuri



Kuvio 6. Tutkimuksen koneiden tuotokset seurantajaksoittain.

Tutkimusaineisto koostuu metsäkoneiden korjuulohkokohtaisista tuotos- ja käyttötiedoista, jotka saatiin haltuun eri tavoin. Osa tuotos- ja käyttötiedoista saatiin sähköpostilla koneesta lähetettävien käyttöraporttien muodossa yrityksen toimihenkilöltä. Tietoja saatiin myös yrityksen selainpohjaisesta konekannan seurantajärjestelmästä ja koneiden näytöltä käyttöraporteista otettuina valokuvina.

### Tutkimusaineiston analysointi

Polttoaineen kulutusta mitataan numeerisesti, joten tutkimusaineiston analysointi suoritettiin määrälliseen aineistoon soveltuvilla menetelmillä. Aineisto analysoitiin apuna käyttäen graafista esitystä, tilastollista päättelyä ja regressioanalyysia.

Tutkimusaineiston analysointi suoritettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmassa. Aluksi

aineisto, joka oli 112 korjuulohkoa, järjesteltiin manuaalisesti Excel-taulukkoon.

Korjuulohkokohtaisista tuotos- ja käyttötiedoista poimittiin seuraavat muuttujat:

- lohkonumero
- tuotos ( $\text{m}^3$ )
- runkojen määrä (kpl)
- kulutetun polttoaineen määrä (l).

Lisäksi kohdeyrityksen WoodForce-toiminnanohjausjärjestelmästä selvitettiin

seuraavat muuttujat korjuulohkoille:

- lohkon pinta-ala (ha)
- hakkuutapa
- metsäkuljetusmatka (m).

Metsäkuljetuksen korjuulohkokohtaista polttoaineen kulutustietoa ei saatu tuotos- ja käyttötiedoista konekannan seurantajärjestelmästä. Asia varmistettiin konevalmistajan teknisestä tuesta. Näin ollen metsäkuljetuksen osalta tulokset perustuvat seurantajakson kokonaiskulutukseen (l).

Aineistossa korjuulohkojen muuttujien jakaumaa tarkasteltiin ja muuttujista laskettiin keskiarvoja, mikä on ominaista tilastolliselle päättelylle. Jokaiselle korjuulohkolle määritettiin seuraavat keskimääräiset muuttujat: hehtaarikohtainen poistuma ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), rungon keskitilavuus ( $\text{dm}^3$ ) ja hakkuun osalta kuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus ( $\text{l}/\text{m}^3$ ). Nämä muuttujat ovat keskeisiä tunnuslukuja puunkorjuussa. Hehtaarikohtainen poistuma saatiin jakamalla lohkon tuotos lohkon pinta-alalla. Rungon keskitilavuus muodostettiin jakamalla tuotos runkojen määrällä. Kuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus saatiin jakamalla lohkon litramääräinen kulutus tuotoksella.

Korjuulohkokohtaisten muuttujien määrittämisen jälkeen lohkojen tuotokset sekä kulutetun polttoaineen määrä laskettiin yhteen kaikkien lohkojen osalta.

Kokonaistuotoksen ja litramääräisen kokonaiskulutuksen avulla saatiin korjuun

kuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus. Korjuun kuutiometrikohtainen kulutus sisälsi sekä hakkuun että metsäkuljetuksen.

Korjuun kokonaiskulutuksen määrittämistä seurasi lohkojen ryhmittely hakkuutavoittain. Tutkimuksessa hakkuutapojen jaottelussa käytettiin neljää ryhmää: ensiharvennukset, harvennukset, päätehakkuut ja muut hakkuutavat. Muut hakkuutavat käsittivät muu muassa ylispuiden poiston, erikoishakkuun ja kaistalehakkuun. Eri hakkuutavoille laskettiin hakkuun osalta kuutiometrikohtainen kulutus.

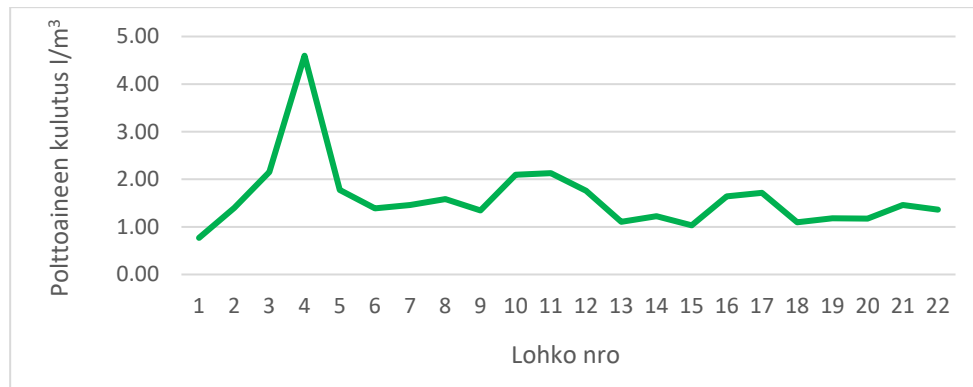
Regressioanalyysia hyödynnettiin, kun selvitettiin korjuuolosuhteiden vaikutusta kuutiometrikohtaiseen polttoaineen kulutukseen. Regressioanalyysin avulla tutkitaan muuttujien välisiä kausaliitteja eli syy-seuraussuhteita (Menetelmien tyyppejä ja soveltuvan menetelmän valinta n.d.). Muuttujien arvoista muodostettiin kuvaajia, jotka havainnollistavat ilmiötä. Kuvaajien pohjalta muodostettiin päätelmiä, jotka esitetään tuloksissa.

## 5 Tulokset

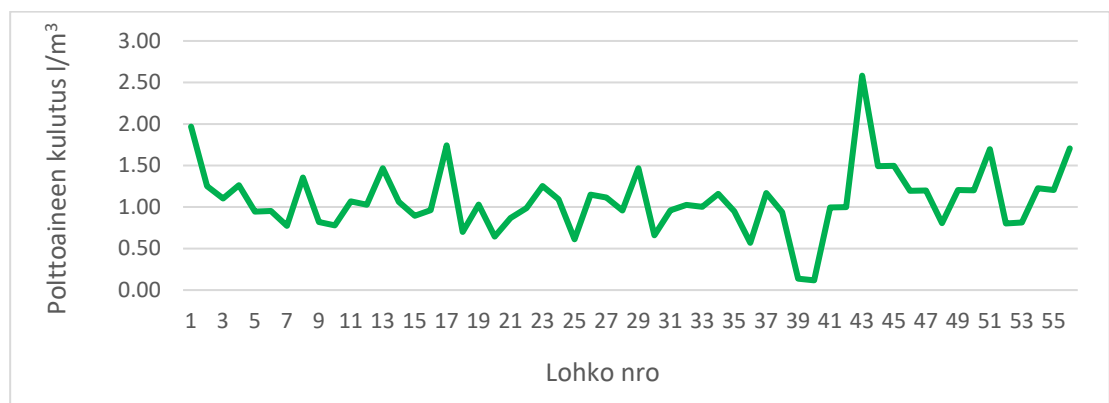
Tutkimuksessa selvitettiin tavoitteen mukaisesti kohdeyrityksen polttoaineen kulutusta. Aineistossa korjuun eli hakkuun ja metsäkuljetuksen sisältävä kuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus kaikilla hakkuutavoilla oli  $1,98 \text{ l/m}^3$ . Kuutiometriä kohden hakkuussa polttoainetta kului 0,92 litraa ja metsäkuljetuksessa 1,06 litraa. Tulokset ovat keskimääräisiä arvoja aineistosta. Otos oli hakkuun osalta kaikki 112 korjuulohkoa. Metsäkuljetuksen osalta otos oli 13 lohkoa. Korjuun kokonaiskulutusta eri hakkuutavoille ei voitu laskea, koska metsäkuljetukselle ei saatu korjuulohkokohtaista kulutusta.

Hakkuun keskimääräinen kulutus saatiin jokaisen hakkuutavan osalta. Polttoaineen keskimääräinen kulutus korjuulohkoilla vaihteli jonkin verran hakkuutapojen sisällä. Kulutuksen vaihteluvälit hakkuutavoittain on havainnollistettu kuvioissa 7-10. Ensiharvennuksella kuutiometrikohtainen kulutus oli  $1,45 \text{ l/m}^3$  (rungon keskitilavuus

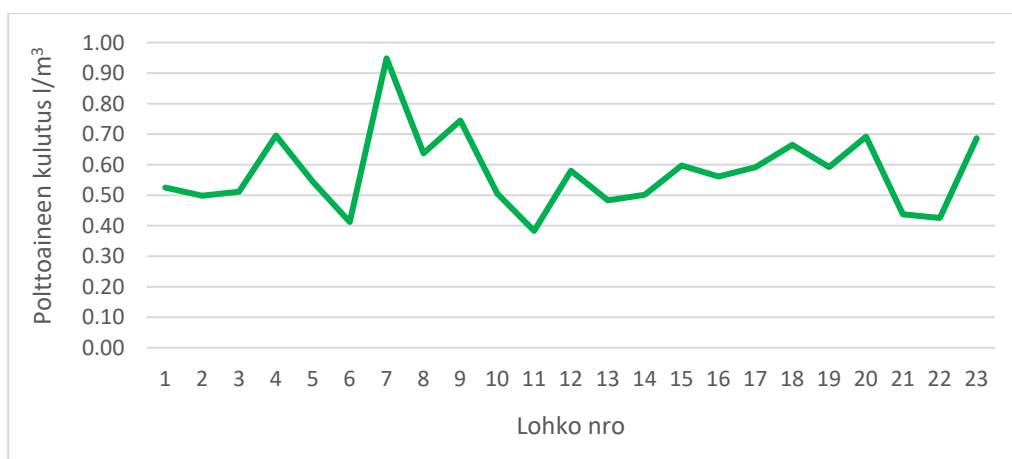
88 dm<sup>3</sup>). Harvennuksella kulutus oli 1,09 l/m<sup>3</sup> (167 dm<sup>3</sup>). Päätehakkuilla kulutus oli 0,52 l/m<sup>3</sup> (377 dm<sup>3</sup>). Muilla hakkuutavoilla kulutus oli 0,81 l/m<sup>3</sup> (385 dm<sup>3</sup>).



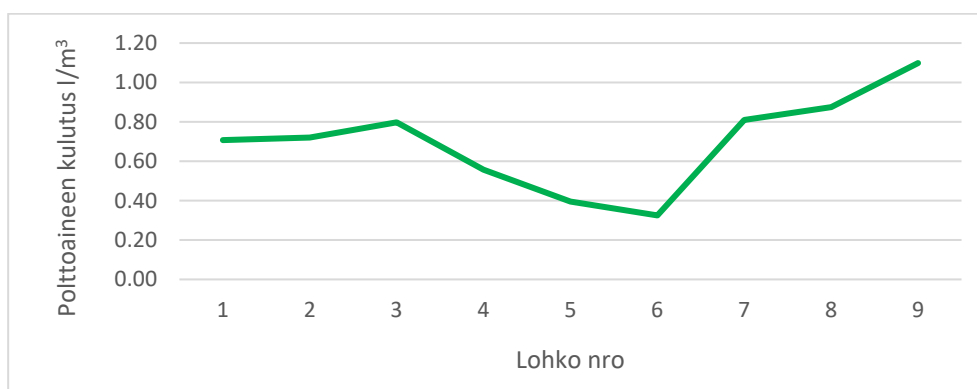
Kuvio 7. Ensiharvennusten polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa



Kuvio 8. Harvennusten polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa



Kuvio 9. Päätehakkuiden polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa



Kuvio 10. Muiden hakkuiden polttoaineen kulutus korjuulohkoittain aineistossa

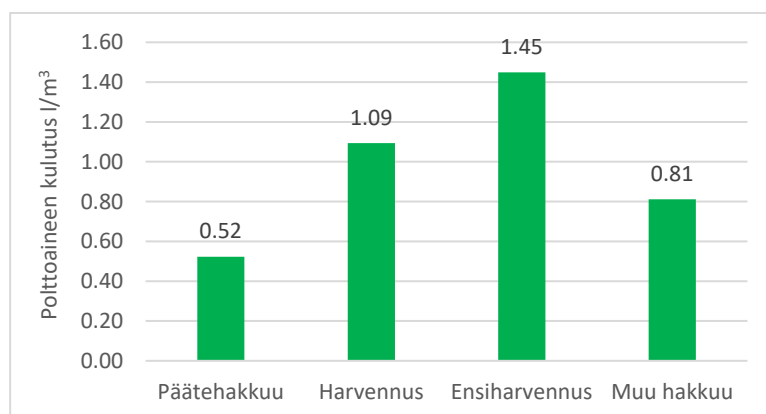
Korjuuolosuhteilla todettiin olevan vaikutusta hakkuun kuutiometrikohtaiseen kulutukseen. Hakkuutavan ja korjuulohkon keskimääräisen runkotilavuuden sekä hehtaarikohtainen poistuman välillä havaittiin olevan riippuvuus polttoaineen kulutukseen. Hakkuutavan vaikutus polttoaineen kulutukseen on esitetty kuviossa 11.

Korjuulohkon keskimääräinen polttoaineen kulutus yhtä kuutiometriä kohti laski, kun rungon keskitilavuus kasvoi (ks. kuvio 12). Pari lohkoa erottautui hieman muita enemmän tästä trendistä. Kun korjuulohkolta poistuvien runkojen keskitilavuus oli

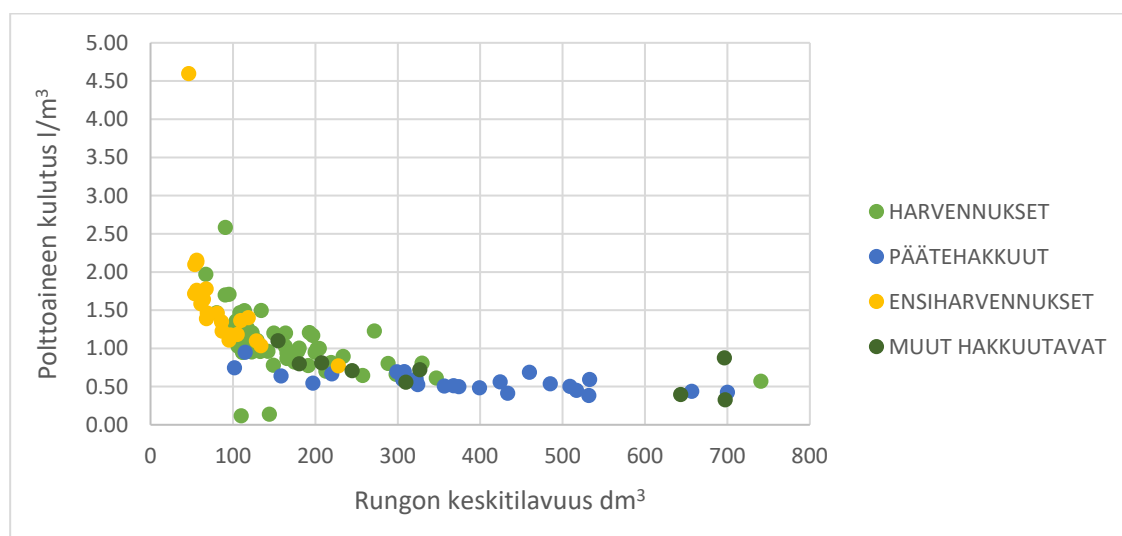


alle  $100 \text{ dm}^3$ , polttoaineen kulutuksessa kuutiometriä kohti havaittiin jyrkempi nousu. Pääsääntöisesti hehtaarikohtaisen poistuman kasvaessa polttoaineen kulutus laski (ks. kuvio 13). Muutama yksittäinen lohko erosi hieman muita selkeämmin tästä trendistä.

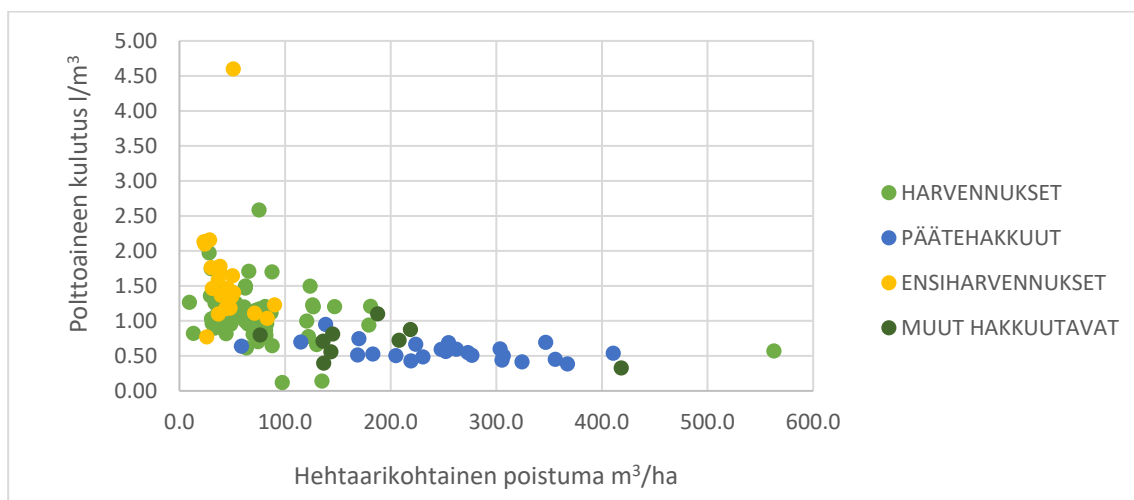
Metsäkuljetuksessa metsäkuljetusmatkan ja hakkuutavan vaikutusta polttoaineen kulutukseen ei voitu tarkastella, koska korjuulohkokohtaista kulutusta ei saatu. Liitteet 1 ja 2 sisältävät hakkuun ja metsäkuljetuksen koko aineiston.



Kuvio 11. Hakkuun keskimääräinen kuutiometrikohtainen polttoaineen kulutus hakkuutavoittain



Kuvio 12. Polttoaineen kulutus hakkuussa rungon keskitilavuuden suhteen hakkuutavoittain



Kuvio 13. Polttoaineen kulutus hakkuussa hehtaarikohtaisen poistuman suhteen hakkuutavoittain

## 6 Johtopäätökset

Tuloksissa vastattiin tutkimuksen alussa asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

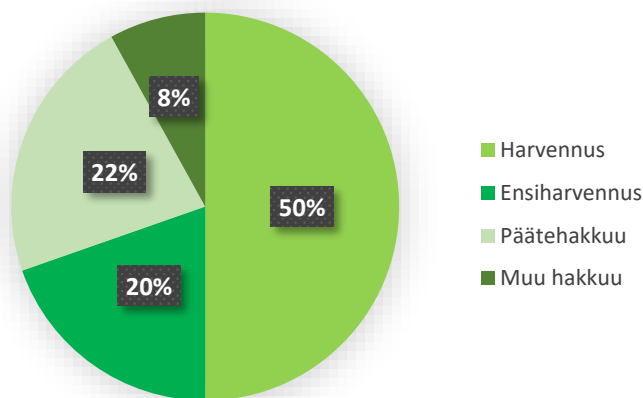
1. Kuinka paljon polttoainetta kuluu yhtä korjattua (=hakattua ja metsäkuljetettua) kuutiometriä kohden?
2. Mikä on hakkuun kuutiometrikohtainen polttoaineenkulutus eri hakkuutavoilla?
3. Miten kohdeyrityksen korjuuolosuhteet vaikuttavat polttoaineen kulutukseen?

Tutkimuksessa onnistuttiin vastaamaan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, joka käsitteli kohdeyrityksen korjuun kokonaiskulutusta. Korjuun kokonaiskulutuksessa huomioitiin kaikki hakkuutavat, koska tiedoiltaan puutteellisen aineiston vuoksi hakkuutapojen erittely ei onnistunut. Saatuun tutkimustulokseen sisältyy epäluotettavuutta, sillä metsäkuljetuksen otos kattoi ainoastaan 13 korjuulohkoa, kun taas hakkuun osuus oli 112 lohkoa.

Toinen tutkimuskysymys käsitteli hakkuun kuutiometrikahtaista kulutusta hakkuutapojen mukaan. Hakkuun keskimääräinen kulutus kuutiometriä kohti vaihteli hakkuutavoittain. Hakkuutapojen kulutuseroja selittävät rungon keskimääräinen tilavuus ja korjuulohkolta poistuva runkojen määrä. Päätehakkuulla kulutus oli alhaisin ja lähes kolminkertainen verrattuna ensiharvennukseen. Ensiharvennuksella kulutus oli korkein. Harvennuksella kulutus oli noin neljänneksen pienempi kuin ensiharvennuksella. Muulla hakkuutavalla kulutus oli ensiharvennukseen verrattuna lähes kaksinkertainen.

Haavikon ja muiden (2020) tutkimukseen verrattuna hakkuun kulutustulokset ovat pienemmät. Tutkimustuloksia vertailtaessa tulee huomioida tutkimusaineistojen otoskoon määräero. Tässä tutkimuksessa hakkuutapojen väliset kulutuserot ovat kuitenkin lähes samassa suhteessa kuin Haavikon ja muiden tutkimuksessa. Hakkuun osalta otoskoko todettiin riittäväksi, jotta tutkimustuloksia voidaan pitää luotettavina.

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä käsiteltiin korjuuolosuhteiden vaikutusta polttoaineen kulutukseen sekä hakkuussa että metsäkuljetuksessa. Tuloksia onnistuttiin saamaan ainoastaan hakkuun osalta. Tuloksista selvisi, että rungon keskitilavuuden noustessa hakkuun polttoaineen kulutus yhtä kuutiometriä kohti laski. Ensiharvennuksilla keskimääräinen runkotilavuus on selkeästi pienin. Päätehakkuilla runkojen tilavuus on tyypillisesti suurinta. Näin ollen päätehakkuut ovat polttoainesäästön näkökulmasta kannattavimpia. Yrityksen urakointialueella kuitenkin valtaosa hakattavista korjuulohkoista on harvennuksia, mikä ilmenee myös tutkimusaineistosta kuviossa 14.



Kuvio 14. Hakkuutapojen jakautuminen tutkimusaineistossa

Tuloksista todettiin, että hehtaarikohtaisen poistuman kasvaessa polttoaineen kulutus yhtä kuutiometriä kohti laski. Päätehakkuulla poistuvien puiden määrä on suurin, sillä korjuulohkolta poistetaan yksittäisiä puita lukuun ottamatta kaikki puut. Ensiharvennuksella ja harvennuksella poistuvien puiden määrä on vastaavasti selkeästi pienempi, koska korjuulohkoilta poistetaan vain osa puista.

Tutkimuksessa ei onnistuttu saamaan tietoa korjuuolosuhteiden vaikutuksesta metsäkuljetukseen. Alalta saadun kokemuksen ja aiempien tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että metsäkuljetusmatkan pituudella on vaikutus metsäkuljetuksen kuutiometrikohtaiseen kulutukseen.

## 7 Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa kohdeyrityksen polttoaineen kulutuksesta korjuussa. Tutkimuksen avulla polttoaineen kulutusta koskeviin tutkimuskysymyksiin saatiin vastauksia, joten tältä osin tutkimustavoitteessa onnistuttiin. Vastausten laatu kuitenkin vaihteli, sillä tutkimusaineisto oli tiedoiltaan osittain puutteellinen.

Tutkimus oli luonteeltaan tapaustutkimus, joten kaikkia tuloksia ei voi täysin sellaisenaan kohdentaa toiseen yritykseen. Tutkimustulokset ovat riippuvaisia

käytettävästä kalustosta, kuljettajasta ja korjuuolosuhteista. Näiden tekijöiden välille syntyy eroja, joista osa on enemmän ja osa vähemmän merkitseviä tuloksen kannalta. Määrällinen tutkimus osoittautui tutkimusongelman kannalta toimivaksi tutkimusmentelmäksi, sillä polttoaineen kulutus perustuu numeerisiin tuloksiin.

Tutkimuksen ei voida sanoa olevan kauttaaltaan luotettava. Suurin tutkimustuloksien luotettavuuteen vaikuttava tekijä oli tutkimusaineiston laajuus. Puunkorjuun kausiluontoisuus vaikutti osakseen tutkimusaineiston laajuuteen. Metsäkuljetuksen otoskoko oli suppea, minkä vuoksi tutkimustuloksiin liittyi epäluotettavuutta. Hakkuun osalta otoskoon todettiin olevan riittävä luotettavan tuloksen saamiseksi. Tutkimusaineiston eli tuotos- ja käyttötietojen luotettavuus vahvistettiin konevalmistajan teknisestä tuesta.

Kohdeyrityksessä polttoaineen kulutusta ei ollut aikaisemmin tutkittu. Kulutuksen määrän arviointi oli pohjautunut vankaan työkokemukseen, joten tutkimuksesta saatiin hyödyllistä tietoa asian tiimoilta. Vaikka tuloksiin sisältyi epäluotettavuutta, voidaan niitä käyttää jatkossa suuntaa antavina lukuina yrityksen liiketoiminnassa. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi laskettaessa korjuulohkojen kustannuksia, minkä pohjalta seurata kannattavuutta.

Tutkimuksessa keskityttiin saamaan käsitys yrityksen polttoaineen kulutuksen nykytasosta korjuussa. Kulutukseen vaikuttavista tekijöistä huomioitiin vain korjuuolosuhteet, joten jatkotutkimuskohteena voisivat olla koneiden säätöjen ja kuljettajien työskentelytapojen toteutuminen kohdeyrityksessä. Jatkotutkimusten toteuttaminen vaatisi todennäköisesti kohdeyritykseltä ylimääräisiä resursseja, minkä vuoksi jatkotutkimukset saavat vielä odottaa lähitulevaisuuden osalta. Tutkimuksen avulla saatiin tuotua esiin, mitkä kaikki tekijät vaikuttavat korjuun polttoaineen kulutukseen.

## Lähteet

Alanne, H., Ovaskainen, H., Poikela, A. & Strandström, M. 2017. Kausivaihtelun kustannukset ja vähentämiskeinot puun toimitusketjussa. Metsätehon tulosalvosarja 8/2017. Viitattu 30.4.2020. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja\\_2017\\_08\\_Kausivaihtelun-kustannukset.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja_2017_08_Kausivaihtelun-kustannukset.pdf).

Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. Skogforsk. Viitattu 18.4.2020. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2013/Bransleforbrukningen-hos-skogsmaskiner-201211/>.

Fossiiliset energianlähteet. N.d. Energiamaailman verkkosivu. Viitattu 15.4.2020. <https://energiamaailma.fi/mista-virtaa/fossiiliset-energialahteet/>.

Haavikko, H., Kärhä, K., Kääriäinen, H., Palander, T & Roininen K. 2020. Laaja seurantatutkimus paljasti. Koneittain iso vaihtelua polttoaineen kulutuksissa. Koneyrittäjä, 2, 24-25.

Hakkuiden työvoima ja korjuukalusto. N.d. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta. Viitattu 18.3.2020. [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_04%20Metsa\\_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto\\_06%20Teollisuuspuun%20hakkuut%20ja%20tyovoima/03\\_Tyovoima\\_ja\\_kalusto\\_kk.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_02%20Rakenne%20ja%20tuotanto_06%20Teollisuuspuun%20hakkuut%20ja%20tyovoima/03_Tyovoima_ja_kalusto_kk.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db).

Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. N.d. Artikkelin Ilmasto-oppaan verkkosivulla. Viitattu 19.4.2020. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbc/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>.

Hiilidioksidipäästöt. N.d. Artikkelin Motivan verkkosivulla. Viitattu 11.3.2020. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto\\_suomessa/hiilidioksidipaastot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/hiilidioksidipaastot).

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2018. Tutki ja kirjoita. 22. uud. p. Helsinki: Tammi.

Hourunranta, P., Jaakkola, S., Makkonen, T., Manner, V. & Nieminen, A. 2018. Osaava yrittäjä metsäkonealalla. Helsinki: Opetushallitus.

Hybridi teknologia metsäkoneissa. N.d. Logsetin tuote-esite. Viitattu 23.4.2020. [https://www.logset.com/sites/default/files/product-pdf/LOGSET\\_HYBRID\\_BIBLE\\_FI\\_0.pdf](https://www.logset.com/sites/default/files/product-pdf/LOGSET_HYBRID_BIBLE_FI_0.pdf).

Keto, M. 2010. Energiamuotojen kerroin. Yleiset perusteet ja toteutuneen sähkön- ja lämmöntuotannon kertoimet. Selvitysraportti. Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos. Viitattu 11.4.2020.

<file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/Energiamuotojen%20kerroin.pdf>.

Koneyrittäjien Jormakka. 2020. Metsäkoneyrityksillä ankarat ajat. Uutinen Konepörssin verkkosivulla 04.2.2020. Viitattu 30.4.2020.

<https://koneporssi.com/tyokoneet-2/koneyrittajien-jormakka-metsakoneyrityksilla-ankarat-ajat/>.

Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2005. Mooli 3. Reaktiot ja energia. Helsinki: Otava.

Löfroth, C & Jönsson, P. 2007. Stor besparingspotential med bränslesnål skotning. Skogforsk. Viitattu 15.3.2020.

<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2007/Stor-besparingspotential-med-branslesnal-skotning/>.

Makkonen, T. 2020. Metsäkoneyritysten nykytila Suomessa. Video. Fobia-hankkeen päätösseminaari Vuokatissa 5.2.2020. Viitattu 19.3.2020.

<https://www.youtube.com/watch?v=vWiloXeanJY&list=PLLiSq4pLIOEBdcwsIO-fl25EAbC8aVhVe&index=1>.

Menetelmien tyyppejä ja soveltuvan menetelmän valinta. N.d. Menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietovarasto. Viitattu 5.5.2020

<https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/menetelma/menetelmatyyppit.html>.

Metsien taloudellinen merkitys. N.d. Artikkelit Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 13.3.2020. <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsatalouden-kestavyys/metsien-taloudellinen-merkitys>.

Metsäkoneala. N.d. Koneyrittäjien verkkosivu. Viitattu 11.3.2020.

<https://www.koneyrittajat.fi/pages/etusivu/koneyrittaejaet/jaesenet/metsaekoneala.php>.

Metsäkonealalla toimivat yritykset. 2020. Metsätrans, 23,1, 16.

Mitattuun tietoon perustuvaa metsäkoneen optimointipalvelua. 2016. Uutinen Metsäalan ammattilehden verkkosivulla 22.06.2016. Viitattu 23.4.2020.

<https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a200=57912>.

Moottoripolttoöljy. N.d. St1:n verkkosivu. Viitattu 23.4.2020.

<https://www.st1.fi/yksityisille/tuotteet-ja-palvelut/polttoneet/moottoripolttoöljyt>.

Nieminen, A. 2015. Resurssitehokas puunkorjuu. Selvitysraportti. Helsinki: Tapio. Viitattu 15.3.2020. <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2019/10/Resurssitehokas-puunkorjuu-raportti.pdf>.

Nylund, N-O., Rahkola, P. & Söderena, P. 2016. Työkoneiden CO<sub>2</sub>-päästöt ja niihin vaikuttaminen. Selvitysraportti. Teknologian tutkimuskeskus VTT.

Nyt puhutaan puunkorjuun kuluttamasta polttoaineesta ja CO<sub>2</sub>-päästöistä. 2019. Metsäalan ammattilehti, 34, 6, 76.

Ovaskainen, H. 2012. Koneellinen puunkorjuu. Verkko-opas Puuhuollon verkkosivulla. Metsäteho. Viitattu 18.4.2020. <http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/>.

Pienet yritykset kuilun partaalla. 2020. Puunkorjuuyritysten menestystekijöitä kartoitettiin. Uutinen Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilla 4.3.2020. Viitattu 30.3.2020. <https://www.luke.fi/fobia/2020/03/04/pienet-yritykset-kuilun-partaalla-puunkorjuuyritysten-menestystekijoi-ka-kartoitettiin/>.

Polttoneiteiden keskihintoja, vuositiedot, 2002-2019. N.d. Tilastokeskuksen tietokannat. Viitattu 19.4.2020. [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_hin\\_khi\\_vv/statfin\\_khi\\_px\\_t\\_11z1.px/chart/chartViewLine/](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_hin_khi_vv/statfin_khi_px_t_11z1.px/chart/chartViewLine/).

Puunkorjuu (harvesting). N.d. Artikkelin Metsäyhdistyksen verkkosivuilla. Viitattu 20.3.2020. <https://smy.fi/sanasto/puunkorjuu-harvesting/>.

Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen vähentämiseksi useita keinoja. 2019. Metsätehon tiedote. Viitattu 22.4.2020. <http://www.metsateho.fi/puun-korjuun-ja-kuljetusten-paastojen-vahentamiseksi-useita-keinoja/>.

Pynnönen, P. 2020. Puunkorjuuyrittäjä, toimitusjohtaja. Metsäkoneurakointi T. ja P. Pynnönen Oy. Haastattelu 15.3.2020

Rieppo, K. & Örn, J. 2003. Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen. Esitutkimus. Helsinki: Metsäteho. Viitattu 21.4.2020. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_148.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_148.pdf).

Siekinen, A. 2017. Case Metsähallitus metsätalous. Energiapihi puunkorjuu. Video. Metsätehon Oy:n Energiatehokas puutavara ja autokuljetus -koulutuskokonaisuus 10.10.2017. Viitattu 17.4.2020. <http://puuhuolto.fi/energiatehokkuus/#video6>.

Suomen metsien kasvua ja kestävyttä koskevat laskelmat. N.d. Artikkelin maa- ja metsätalousministeriön verkkosivuilla. Viitattu 12.3.2020. <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsatalouden-kestavyys/kestavyytta-kokevat-laskelmat>.



Suomen tieliikenteen päästöjen kehitys. 2019. LIPASTO-laskentajärjestelmä. Teknologian tutkimuskeskus VTT. Viitattu 5.3.2020.  
<http://lipasto.vtt.fi/liisa/aikasarja.htm>.

Suomen työkoneiden päästömalli. N.d. LIPASTO-laskentajärjestelmä. Teknologian tutkimuskeskus VTT. Viitattu 10.3.2020. <http://lipasto.vtt.fi/tyko/index.htm>.

Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineistot. N.d. Avoimet oppimateriaalit. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 11.4.2020.  
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/kirjasto/kirjastotuutori/aihehaku-tutkimusprosessissa/menetelmatietoa-ja-palveluja>.

Työkoneet. N.d. Artikkelit Motivan verkkosivulla. Viitattu 15.4.2020.  
[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/tyokoneet](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/tyokoneet).

Työkoneiden kulutus kutistuu merkittävästi. 2019. Uutinen Elektroniikkalehden verkkosivuilla 18.02.2019. Viitattu 4.3.2020. <https://etn.fi/index.php/13-news/9098-tyokoneiden-dieselin-kulutus-kutistuu-merkittavasti>.

Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Metsälehti kustannus. Hämeenlinna: Karisto.

Vauhkonen, H. 2017. Työkoneen säädöt. Video. Metsätehon Oy:n Energiatehokas puutavara ja autokuljetus -koulutuskokonaisuus 10.10.2017. Viitattu 19.4.2020.  
<http://puuhuolto.fi/energiatehokkuus/#video9>.

Vilkkä, H. 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.4.2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-0099-9>.

Virokannas, A. & Wanhatalo, P. 2014. Metsäalan konekustannusindeksi 2010=100, indeksit kustannustekijöittäin, kokonaisindeksi. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 12.3.2020. [https://www.stat.fi/til/mekki/2014/12/mekki\\_2014\\_12\\_2015-01-19\\_tau\\_002\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/mekki/2014/12/mekki_2014_12_2015-01-19_tau_002_fi.html).

Vuosi 2019 oli harvesterimyyntien ennätysvuosi. 2020. Metsätrans, 23, 1, 9.

## Liitteet

### Liite 1. Hakkuun koko aineisto

Hakkuutapa		Hakkuukertymä, m <sup>3</sup>	Rungot (kpl)	Rungon tilavuus, dm <sup>3</sup>	Polttoaine (l)	Lohkon pinta- ala, ha	Metsäkuljetusmatka, m	Lohkoja, kpl
Ensiharvennukset		3505,8	45299	88	5081	3,6	276	22
Harvennukset		10335,6	73605	167	11303	2,9	250	56
Päätehakkuut		8781,3	22962	377	4593	1,3	271	25
Muut hakkuutavat	ylispuiden poisto	760,3	2687	385	491	1,8	414	3
	pienaukkohakkuu	243,5	1093	365	179	0,8	228	3
	siemenpuuhakkuu	209,2	300	273	68	0,5	323	1
	kaistalehakkuu	153,3	220	697	134	0,7	24	1
	erikoishakkuu	826,6	5333	155	908	4,4	308	1
Kaikki hakkuut		24815,5	151499	216	22757	2,0	262	112

## Liite 2. Metsäkuljetuksen koko aineisto

Hakkuutapa		Hakkuukertymä, m <sup>3</sup>	Rungot (kpl)	Rungon tilavuus, dm <sup>3</sup>	Polttoaine (l)	Lohkon pinta- ala, ha	Metsäkuljetusmatka, m	Lohkoja, kpl
Ensiharvennukset		100,9	1119	90		1,2	205	2
Harvennukset		1323,5	9748	136		1,8	100	8
Päätehakuut		477,9	898	532		1,3	183	1
Muut hakkuutavat	pienaukkohakkuu	62,4	191	327		0,3	111	1
	siemenpuuhakkuu	209,2	300	697		0,5	323	1
Kaikki hakkuut		2174,0	12256	241	2300	1,5	162	13